



生物力学研究前沿系列
总主编 姜宗来 樊瑜波

口腔力学生物学

Mechanobiology in Stomatology

赵志河 房 兵 主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

生物力学研究前沿系列

总主编 姜宗来 樊瑜波

口腔力学生物学

赵志河 房兵 主编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书是“生物力学研究前沿系列”之一。本书总结了近十年来我国口腔力学生物学领域的研究成果及最新进展,在总结了口腔解剖生理及力学生物学原理的基础上,分别从颌面部各重要组织器官(骨改建、软骨分化、口周肌肉、牙周膜重建、颞下颌关节和气道)进行力学生物学剖析,并阐述了口腔种植、口腔正畸、口腔修复及牙体牙髓等口腔临床重要应用的力学生物学原理。本书从大量细胞实验、动物实验及临床试验着手,全面总结了力学生物学在口腔领域各个学科的基本原理及临床应用,为临床诊治提供了新思路。

本书兼具科学性与前沿性,适合从事口腔医学、力学生物学研究、临床及产业应用的读者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

口腔力学生物学 / 赵志河, 房兵主编. —上海:
上海交通大学出版社, 2017
(生物力学研究前沿系列)
ISBN 978-7-313-17353-9

I. ①口… II. ①赵… ②房… III. ①口腔科学—生
物力学 IV. ①R73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 142390 号

口腔力学生物学

主 编: 赵志河 房 兵

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

出 版 人: 谈 毅

印 制: 上海锦佳印刷有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

字 数: 792 千字

版 次: 2017 年 12 月第 1 版

书 号: ISBN 978-7-313-17353-9/R

定 价: 468.00 元

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021-64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 34.75

印 次: 2017 年 12 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 021-56401314

生物力学研究前沿系列
丛书编委会

發展生物力学 造福人類健康

邬元楨

2016 七月廿一日

生物力学研究前沿系列 丛书编委会

总主编

上海交通大学,教授 姜宗来
国家康复辅具研究中心 北京航空航天大学,教授 樊瑜波

编委

(按姓氏笔画排序)

北京航空航天大学,教授 邓小燕
中国科学院力学研究所,研究员 龙勉
清华大学,教授 冯西桥
重庆大学,教授 吕永钢
上海体育学院,教授 刘宇
上海交通大学,教授 齐颖新
上海交通大学医学院,教授 汤亭亭
大连医科大学,教授 孙秀珍
重庆大学,教授 杨力

[illegible]

总主编简介



姜宗来 博士,教授,博士生导师;美国医学与生物工程院会士(AIMBE Fellow);享受国务院政府特殊津贴,全国优秀科技工作者,总后勤部优秀教师;上海交大学生命科学技术学院教授;曾任上海交通大学医学院筹备组副组长和力学生物医学研究所所长;先后担任世界生物力学理事会(WCB)理事,中国生物医学工程学会副理事长、名誉副理事长,中国力学学会中国生物医学工程学会生物力学专业委员会(分会)副主任委员、主任委员,中国生物物理学会生物力学与生物流变学专业委员会副主任委员,国际心脏研究会(ISHR)中国分会执委,《中国生物医学工程学报》副主编和《医用生物力学》副主编、常务副主编等;长期从事心血管生物力学、力学生物学和形态学研究,培养博士后、博士生和硕士生 45 人,在国内外发表学术论文 100 余篇,主编和参编专著与教材 26 部,获国家科技进步奖三等奖(第一完成人,1999)、军队科技进步二等奖(第一完成人)和国家卫生部科技进步三等奖各 1 项,获国家发明专利 2 项、新型实用专利 1 项。



樊瑜波 博士,教授,博士生导师;美国医学与生物工程院会士(AIMBE Fellow);国家杰出青年科学基金获得者,教育部“长江学者”特聘教授,教育部跨世纪人才,全国优秀科技工作者,国家自然科学基金创新群体项目负责人,科技部重点领域创新团队带头人;现任民政部国家康复辅具研究中心主任、附属医院院长,北京航空航天大学生物与医学工程学院院长、生物力学与力学生物学教育部重点实验室主任、北京市生物医学工程高精尖创新中心主任;先后担任世界生物力学理事会(WCB)理事,世界华人生物医学工程协会(WACBE)主席,国际生物医学工程联合会(IFMBE)执委,中国生物医学工程学会理事长,医工整合联盟理事长,中国力学学会中国生物医学工程学会生物力学专业委员会(分会)副主任委员、主任委员,《医用生物力学》和《生物医学工程杂志》副主编等;长期从事生物力学、康复工程、植介入医疗器械等领域研究,发表 SCI 论文 260 余篇,获国家发明专利近百项,获教育部自然科学一等奖和黄家驷生物医学工程一等奖等科技奖励。

本书主编简介



赵志河 博士,教授,博士生导师;国际牙医师学院会士(ICD Fellow);曾任中华口腔医学会第五届口腔正畸专业委员会主任委员;现任中国医师协会口腔医师分会副会长,中国力学学会中国生物医学工程学会生物力学专业委员会(分会)委员,中华口腔医学会理事,口腔医学科技创新人物,国家卫健委有突出贡献中青年专家,四川省学术和技术带头人,《中华口腔医学杂志》、《华西口腔医学杂志》等编委,国家级精品课程《口腔正畸学》负责人,全国高等学校五年制本科口腔医学专业“十三五”国家级规划教材《口腔正畸学》主编;发表学术论文230余篇,其中被SCI、EI收录100余篇;作为项目负责人获教育部、四川省科技进步一等奖2项,获省部级科技进步二等奖2项。



房兵 博士,教授,主任医师,博士生导师;国际牙医师学院会士(ICD Fellow);现任上海交通大学医学院附属第九人民医院口腔正畸科行政主任,美国 Angle 口腔正畸专委会委员,英国爱丁堡皇家外科学院口腔正畸专科考试中国考试中心秘书长及国际考官;中国力学学会中国生物医学工程学会生物力学专业委员会(分会)委员,中华口腔医学会口腔正畸专业委员会副主任委员、口腔美学专业委员会副主任委员、颞下颌关节病学及殆学专业委员会常委(前任),中国整形美容协会口腔整形美容分会副会长,上海口腔医学会口腔正畸专业委员会副主任委员;长期从事口腔正畸、口腔颅颌面先天发育性畸形、唇腭裂继发颌面牙齿畸形等临床和基础研究,在国内外杂志上发表论文100余篇,主译著作2部,主编著作1部,参编著作5部,获发明专利授权3项。

序

欣闻姜宗来教授和樊瑜波教授任总主编的一套“生物力学研究前沿系列”丛书，即将由上海交通大学出版社陆续出版，深感欣慰。谨此恭表祝贺！

生物力学(biomechanics)是研究生命体变形和运动的学科。现代生物力学通过对生命过程中的力学因素及其作用进行定量的研究，结合生物学与力学之原理及方法，得以认识生命过程的规律，解决生命与健康的科学问题。生物力学是生物医学工程学的一个重要交叉学科，对探讨生命科学与健康领域的重大科学问题作出了很大的贡献，促进了临床医学技术与生物医学材料的进步，带动了医疗器械相关产业的发展。

1979 年以来，在“生物力学之父”冯元桢(Y. C. Fung)先生的亲自推动和扶植下，中国的生物力学研究已历经了近 40 年的工作积累。尤其是近十多年来，在中国新一代学者的努力下，中国的生物力学研究有了长足的进步，部分研究成果已经达到国际先进水平，从理论体系到技术平台均有很好的成果，这套“生物力学研究前沿系列”丛书的出版真是适逢其时。

这套丛书的总主编姜宗来教授和樊瑜波教授以及每一分册的主编都是中国生物力学相关领域的学术带头人，丛书的作者们也均为科研和临床的一线专家。他们大多在国内外接受过交叉学科的系统教育，具有理工生医多学科的知识背景和优越的综合交叉研究能力。该丛书的内容涵盖了血管力学、生物力学建模与仿真、细胞分子生物力学、组织修复生物力学、骨与关节生物力学、口腔力学、眼耳鼻咽喉生物力学、康复工程生物力学、生物材料力学和人体运动生物力学等生物力学研究的主要领域。这套丛书立足于科技发展前沿，旨在总结和展示 21 世纪以来中国在生物力学领域所取

得的杰出研究成果,为力学、生物医学工程以及医学等相关学科领域的研究生和青年科技工作者们提供研究参考,为生物医学工程相关产业的从业人员提供理论导引。这套丛书的出版适时满足了生物力学学科出版领域的需求,具有很高的出版价值和积极的社会意义。可以预见这套丛书将能为广大科技工作者提供学术交流的平台,因而促进中国生物力学学科的进一步发展和年轻人才的培养。

这套丛书是用中文写的,对全球各地生物力学领域用中文的学者有极大意义。目前,生物力学这一重要领域尚无类似的、成为一个系列的英文书籍。希望不久的将来能看到这套丛书的英文版,得以裨益世界上所有的生物力学及生物医学工程学家,由此促进全人类的健康福祉。

钱煦

美国加州大学医学与生物工程总校教授

美国加州大学圣迭戈分校工程与医学研究院院长

美国国家科学院院士

美国国家工程院院士

美国国家医学院院士

美国艺术与科学院院士

美国国家发明家学院院士

中国科学院外籍院士

序 二

人体处于力学环境之中。人体各系统,如循环系统、运动系统、消化系统、呼吸系统和泌尿系统等的生理活动均受力学因素的影响。力是使物体变形和运动(或改变运动状态)的一种机械作用。力作用于机体组织细胞后不仅产生变形效应和运动效应,而且可导致其复杂的生理功能变化。生物力学(biomechanics)是研究生命体变形和运动的学科。生物力学通过生物学与力学原理方法的有机结合,认识生命过程的规律,解决生命与健康领域的科学问题。

20 世纪 70 年代末,在现代生物力学开创者和生物医学工程奠基人、被誉为“生物力学之父”的著名美籍华裔学者冯元桢(Y. C. Fung)先生的大力推动和热情关怀下,生物力学作为一门新兴的交叉学科在我国起步。随后,我国许多院校建立了生物力学的学科基地或研究团队,设立了生物力学学科硕士学位授权点和博士学位授权点。自 1982 年我国自己培养的第一位生物力学硕士毕业以来,陆续培养出一批接受过良好交叉训练的青年生物力学工作者,他们已逐渐成为我国生物力学学科建设和发展的骨干力量。20 世纪 80 年代以来,我国生物力学在生物流变学、心血管生物力学与血流动力学、骨关节生物力学、呼吸力学、软组织力学和药代动力学等领域开展了研究工作,相继取得了一大批有意义的成果,出版了一些生物力学领域的专著,相关研究成果也曾获国家和省部级的多项奖励。这些工作的开展、积累和成果为我国生物力学事业的发展作出了重要贡献。

21 世纪以来,国际和国内生物力学研究领域最新的进展和发展趋势主要有:一是力学生物学;二是生物力学建模分析及其临床应用。前者主要是生物力学细胞分子层次的机制(发现)研究,而后者主要是生物力学解决临床问题的应用(发明)研究,以生物力学理论和方法发展有疗效的或有诊断意义的新概念与新技术。两者的最终目的都是促进生物医学基础与临床以及相关领域研究的进步,促进人类健康。

21 世纪以来,国内生物医学工程、力学、医学和生物专业的科技人员踊跃开展生物力学的交叉研究,队伍不断扩大。以参加“全国生物力学大会”的人数为例,从最初几届的百人左右发展到 2015 年“第 11 届全国生物力学大会”,参会人员有 600 人之多。目前,国家自然科学基金委员会数理学部在“力学”学科下设置了“生物力学”二级学科代码;生命科学部也专为“生物力学与组织工程”设置了学科代码和评审组。在国家自然科学基金的持续支持下,我国的生物力学研究已有近 40 年的工作积累,从理论体系、技术平台到青年人才均有很好的储备,研究工作关注人类健康与疾病中的生物力学与力学生物学机制的关键科学问题,其中部分研究成果已达到国际先进水平。

为了总结 21 世纪以来我国生物力学领域的研究成果,在力学、生物医学工程以及医学等相关学科领域展示生物力学学科的实力和未来,为新进入生物力学领域的研究生和青年科技工作者等提供一个研究参考,我们组织国内生物力学领域的一线专家编写了这套“生物力学研究前沿系列”丛书,其内容涵盖了血管力学生物学、生物力学建模与仿真、细胞分子生物力学、组织修复生物力学、骨与关节生物力学、口腔力学生物学、眼耳鼻喉生物力学、康复工程生物力学、生物材料力学和人体运动生物力学等生物力学研究的主要领域。本丛书的材料主要来自各分册主编及其合著者所领导的国内实验室,其中绝大部分成果系国家自然科学基金资助项目所取得的新研究成果。2016 年,已 97 岁高龄的美国国家科学院、美国国家医学院和美国国家工程院院士,中国科学院外籍院士冯元桢先生在听取了我們有关本丛书编写工作进展汇报后,欣然为丛书题词“发展生物力学,造福人类健康”。这一珍贵题词充分体现了先生的学术理念和对我們后辈的殷切希望。美国国家科学院、美国国家医学院、美国国家工程院和美国国家发明家学院院士,美国艺术与科学院院士,中国科学院外籍院士钱煦(Shu Chien)先生为本丛书作序,高度评价了本丛书的出版。我們对于前辈们的鼓励表示由衷的感谢!

本丛书的主要读者对象为高校和科研机构的生物医学工程、医学、生物学和力学等相关专业的科学工作者和研究生。本丛书愿为今后的生物力学和力学生物学研究提供参考,希望能对促进我国生物力学学科发展和人才培养有所帮助。

在本丛书完成过程中,各分册主编及其合著者的团队成员、研究生对相关章节的结果呈现作出了许多出色贡献,在此对他们表示感谢;同时,对本丛书所有被引用和参考的文献作者和出版商、对所有帮助过本丛书出版的朋友们一并表示衷心感谢!感谢国家自然科学基金项目的资助,可以说,没有国家自然科学基金的持续资助,就没有我国生物力学蓬勃发展的今天!

由于生物力学是前沿交叉学科,处于不断发展丰富的状态,加之组织出版时间有限,丛书难免有疏漏之处,请读者不吝赐教、指正。

姜宗来 樊瑜波

2017 年 11 月

前言

力学生物学主要研究力学环境下组织-细胞生长、重建、适应性变化和修复过程中细胞对力学环境的主动响应,在明确力学因素对人类健康和疾病发生发展作用的同时,致力于发展相关的新技术和新方法,紧密联系临床诊治,提出具有力学生物学特色的新思路。

近年来,力学生物学的研究内容从细胞对力学环境的响应逐步深入至细胞内部不同细胞器对力学环境的响应,深入阐述细胞这个整体响应力学信号的内在机制;同时,结合干细胞具有自我更新、不同方向分化潜能的特点,考察不同力学、物理因素对干细胞生物学过程的调控作用成为研究热点。

口腔医学是医学学科的一个重要分支,特别是近年来,随着社会经济的发展和人们生活水平的提高,人民群众对口腔医疗的需求日益增强,同时随着科学技术的飞速发展,口腔医学临床及基础研究的发展也日新月异。口腔医学的研究方法很多,层次很复杂,但终究离不开对口腔及其周围环境力的研究,口腔力学生物学在口腔生物力学的基础上应运而生。

本书总结检阅了近十多年我国口腔力学生物学领域的研究成果,内容以介绍作者自己的研究工作所取得的结果为主,并结合国外的相关进展,主要展示口腔力学生物学等相关研究领域的实力和未来,并为研究生和青年科技工作者等提供教学和课题研究的参考。

感谢本书所有作者的辛苦付出及背后默默无闻的参与者,感谢姜宗来、樊瑜波总主编和上海交通大学出版社的支持与帮助。

本书存在的不足与疏漏,恳请读者批评指正。

赵志河 房 兵

2016年12月4日

目 录

1	绪论：口腔力学生物学及其最新进展 / 赵志河 黄鑫琪	1
---	----------------------------	---

1.1	细胞学基础	1
1.2	力学生物学信号转导	1
1.2.1	细胞外基质-整合素-细胞骨架通路	2
1.2.2	力学敏感性离子通道	2
1.2.3	G 蛋白偶联 PLC 通路	3
1.2.4	MAPK 途径	3
1.2.5	锚定蛋白 V	3
1.3	力学刺激对细胞生物学效应的影响	4
1.4	干细胞的力学生物学机制	5
1.4.1	外源性应力	5
1.4.2	内源性应力	7
1.5	展望	8
	参考文献	9

2	口腔解剖生理基础 / 刘洋	11
---	---------------	----

2.1	口颌面部的骨性框架	11
2.1.1	上颌骨	11
2.1.2	下颌骨	13
2.1.3	颞下颌关节	14
2.2	肌肉的附着及其动力	19

2.2.1	口周肌解剖及其力学特征	19
2.2.2	咀嚼肌解剖及其力学特征	20
2.2.3	韧带	23
2.2.4	下颌功能运动及神经-肌肉相互作用	24
2.3	牙、牙列、颌及颌位	27
2.3.1	牙体解剖及其力学特征	27
2.3.2	正常牙列及其力学特征	36
2.3.3	正常骀与错骀及其力学特征	38
2.3.4	几种颌位及其力学特征	42
	参考文献	48

3 力学生物学原理在口腔临床中的应用 49

3.1	口腔正畸临床力学生物学 / 赵志河 廖文	49
3.1.1	基本概念	49
3.1.2	正畸牙移动的类型	50
3.1.3	牙移动的最基本方式	52
3.1.4	力矩/力比(M/F 比)和牙移动方式	52
3.1.5	阻力中心的位置及其性质	53
3.1.6	矫治力的种类	54
3.1.7	矫形治疗中的生物力学	54
3.2	阻生牙矫治的生物力学考量 / 严斌 傅肆芃	55
3.2.1	概述	55
3.2.2	常见阻生牙矫治的生物力学分析	57
3.3	牙槽外科辅助正畸牙移动 / 曹阳	63
3.3.1	牙周快速成骨正畸	63
3.3.2	牵张成骨术	65
3.3.3	正畸应力刺激骨再生	67
3.3.4	正颌“手术优先”治疗	69
3.3.5	纤维切断术	70
3.4	牙体牙髓病治疗的生物力学及其应用 / 程然 胡涛	70
3.4.1	牙体疾病治疗的生物力学应用	70
3.4.2	牙髓根尖周疾病治疗的生物力学因素	72
3.4.3	展望	75
3.5	口腔修复的生物力学 / 王剑 张鑫 刘为	75
3.5.1	固定全冠与生物力学	76
3.5.2	嵌体与生物力学	76

3.5.3	贴面与生物力学	77
3.5.4	桩核冠与生物力学	77
3.5.5	固定桥与生物力学	78
3.5.6	可摘局部义齿与生物力学	79
3.5.7	全口义齿与生物力学	81
3.6	口腔种植生物力学 / 周延民	84
3.6.1	概述	84
3.6.2	种植义齿相关材料	85
3.6.3	牙种植体外形设计	86
3.6.4	种植体数量、分布的生物力学影响	88
3.6.5	基台设计与生物力学	89
3.6.6	修复设计与生物力学	91
3.6.7	手术方法与生物力学的关系	92
3.6.8	骨结合(osseointegration)与生物力学的关系	93
	参考文献	93
4	骨改建的口腔力学生物学	97
4.1	骨细胞的应力感知和转导 / 白丁 韩向龙 曾欢	97
4.1.1	骨细胞的生存	97
4.1.2	骨改建的生物学基础	98
4.2	干细胞转归的力学生物学调控与组织再生 / 刘钧	102
4.2.1	概述	102
4.2.2	干细胞的力学生物学调控	103
4.2.3	展望	106
4.3	YAP/TAZ 信号在细胞外基质硬度微环境诱导间充质干细胞成骨分化中的作用 / 经典 赵志河	107
4.3.1	Hippo 信号通路及 YAP/TAZ 信号分子	107
4.3.2	细胞外基质硬度微环境对 MSCs 命运的决定性研究	108
4.3.3	YAP/TAZ 信号分子在基质硬度刺激 MSCs 成骨分化中的调控作用	108
4.4	周期性应力作用下人牙周膜干细胞成骨分化和破骨调节作用 / 张淋坤 张春香 邹慧儒 颜艳	110
4.4.1	牙周膜干细胞生物学特性	110
4.4.2	应力对牙周膜干细胞生物学特性的影响	116
4.5	缺氧与压应力对牙周膜细胞促破骨细胞形成的影响 / 易俭如 赵志河	130
4.6	甲状旁腺激素对大鼠上颌扩弓中骨改建和复发的影响及机制研究 / 徐梦婷 赵志河	132

4.6.1	甲状旁腺激素概述	132
4.6.2	甲状旁腺激素在大鼠上颌扩弓的应用	132
4.7	牙周膜参与正畸牙移动破骨诱导的力学生物学 / 李宇 陆文昕	139
4.7.1	牙周膜细胞三维培养及压应力加载模型	139
4.7.2	牙周膜参与正畸牙移动破骨诱导	140
4.8	骨细胞分泌骨硬化蛋白调控正畸牙移动压力区的骨吸收 / 郭永文 舒睿	142
4.9	牙骨质细胞 (cementocytes) 的生物力学特征及流体剪切力作用下成骨破骨分化因子的反应 / 赵宁	146
4.9.1	牙骨质细胞的来源、形态结构	147
4.9.2	牙骨质细胞陷窝-小管系统	147
4.9.3	牙骨质细胞相关标志物	148
4.9.4	牙骨质细胞的功能	149
4.10	氢氧化钙通过 MAPK 通路调节人牙髓干细胞增殖、迁移以及成骨向分化 / 郑丽沙	151
4.11	体外张应变对大鼠骨髓间充质细胞成骨向分化的影响 / 房兵 江凌勇 张鹏 欧阳宁鹄	155
4.12	Runx2 在持续张应变介导 BMSCs 骨向分化中的调控作用 / 房兵 江凌勇 张鹏 欧阳宁鹄	158
4.13	体外张应变对于大鼠骨髓基质干细胞骨向分化影响的基因芯片分析 / 房兵 江凌勇 张鹏 欧阳宁鹄	159
4.14	MAPKs - Runx2 信号通路在张应变介导骨质疏松大鼠 BMSCs 骨向分化中的调控作用 / 房兵 江凌勇 张鹏 欧阳宁鹄	164
4.15	PI3K/Akt 通路在持续张应变介导 OVX BMSCs 骨向分化中的调控作用 / 房兵 江凌勇 张鹏 欧阳宁鹄	167
4.16	FoxOs 在体外张应变介导骨向分化中的调控作用 / 房兵 江凌勇 张鹏 欧阳宁鹄	171
	参考文献	179

5 软骨力学生物学 187

5.1	软骨的特点及其力学生物学 / 谭理军	187
5.2	延迟应力加载在骨髓间充质干细胞成软骨分化过程中的效应及其机制研究 / 李娟 王娅婷 蒋福林 万凌云	190
5.2.1	延迟应力加载对 MSCs 成软骨分化的影响以及机制	192
5.2.2	周期性动压对 MSCs 成软骨分化过程中细胞增殖的影响	195